

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 200428009

UDC \_\_\_\_\_

厦门大学

硕士学位论文

# 基于虚拟现实的微机变电站仿真培训系统 平台

Simulation and Training System Platform on Computer

Based on Virtual Reality for Substation

陈东亮

指导教师姓名: 陆 达 教授

专 业 名 称: 计算机系统结构

论文提交日期: 2007 年 4 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 7 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2007 年 4 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在      年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）。

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期：      年      月      日

导师签名：

日期：      年      月      日

## 摘要

变电站运行人员的个人技能是影响电力系统安全可靠运行的重要因素之一，因此，在运行人员正式上岗之前需要对其进行技能培训。目前，国内外已经开发出了许多变电站仿真培训系统，并取得了不错的效果。但其中大多数都是针对某个特定变电站开发的，通用性、可扩展性和维护性比较差，而且操作界面一般都是二维的窗口，真实性不高。本文针对这两方面的不足之处进行改进，提出了基于虚拟现实的微机变电站仿真培训系统平台。

首先，本文采用面向对象的程序设计方法，对变电站系统进行分析，根据系统本身对数据信息的要求，采用关系型数据库来表示变电站的数据信息。并围绕着数据库信息，开发了室内二次设备编辑平台，事故现象和条件编辑平台，操作关系定义平台和仿真培训模块。通过这些编辑平台来设置变电站的内容，并保存到数据库。仿真培训模块从数据库中读取变电站的相关信息，重新构建变电站，包括变电站设备及设备之间的关联，实现了系统的通用性。

其次，本文引入了虚拟现实技术，通过 OpenGL(Open Graphics Library)和 3D Studio Max 来构建三维的虚拟变电站场景，使得学员面对的不再是按钮和标签，而是实际设备的逼真的模型，大大提高了仿真培训界面真实性。同时利用 OpenGL 提供的交互功能，实现对虚拟设备的操作，并将操作结果在虚拟场景中展示出来，给予学员更直接直观的体验，大大提高了培训效果。

本文构建的系统具备了软件仿真模式的灵活性、易维护性，而且还实现了通用性，同时还提高了软件仿真模式的真实性，具有广泛的应用前景。

**关键字：**变电站仿真；虚拟现实；通用平台；

## Abstract

The personal ability of substation operator is one of the most important factors that affect the security and reliability of electric power system. So, the substation operator should be trained before he/she starts to operate real equipment. At present, many simulation training systems for substation have been developed and effectively used. However, most of these systems are developed for a certain substation, so their generality, expansibility and maintainability are not very satisfying. Moreover, the training interface are almost all two-dimensional windows, and the reality is poor. Contraposing the shortcomings of these two aspect, the simulation training system based on virtual reality for substaion is introduced in this paper.

First, the Object-Oriented Design is applied for analyzing the substation system. According to data requirement of the system, the relation database system is used to describe the data information. And indoor secondary equipment editor platform, the accident phenomena and condition editor platform, the relation define platform and the simulation training module are developed basing on the information of the database. These platforms are used to change the equipment information of the substation and wirte to the database. The simulation training module is used to read the information from the database and reconstruct the substation, including the equipments and the relation between them. So the generality of the system is achieved.

Second, virtual reality is introduced in this paper. OpenGL(Open Graphics Library) and 3D Studio Max are used to construct the three-dimensional environment of the substation. Using the vivid model of real device instead of button and label, the reality of simulation training interface is greatly improved. Meanwhile, the operation of the virtual equipment is implemented by using the the interactive function of OpenGL. And the result of operation is showed in the virtual scene. The student could learn the experience more directly and vividly, and the result of training is more effective.

The system developed in this paper is provided with the facility and maintainability of software simulation. Also, the generality is achieved and the reality is greatly improved. So this system could be widely applied.

**Key Words:** Substation simulation; Virtual reality; Platform;

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目录

<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究的目的和意义 .....	1
1.2 变电站仿真培训系统的系统仿真学理论 .....	2
1.3 国内外电力系统仿真培训的发展综述 .....	3
1.4 本文所做的工作 .....	6
1.5 本文的组织结构 .....	6
<b>第二章 虚拟现实技术 .....</b>	<b>9</b>
2.1 虚拟现实介绍 .....	9
2.2 虚拟现实的发展综述 .....	11
2.3 虚拟现实的相关工具 .....	12
2.3.1 OpenGL.....	13
2.3.2 3D Studio Max .....	13
2.3.3 虚拟现实建模语言 VRML .....	14
2.3.4 本文所采用工具.....	14
2.4 微机上虚拟现实的 OpenGL 实现 .....	15
2.4.1 OpenGL 图形操作步骤.....	15
2.4.2 Windows API .....	16
<b>第三章 系统设计及实现 .....</b>	<b>17</b>
3.1 系统设计 .....	17
3.1.1 主接线图绘制平台 .....	18
3.1.2 室外一次设备编辑平台 .....	18
3.1.3 室内二次设备编辑平台 .....	18
3.1.4 事故现象编辑平台 .....	19
3.1.5 设备操作关系定义平台 .....	19
3.1.6 仿真培训模块.....	19
3.1.7 反事故演习模块.....	20
3.1.8 数据库维护模块.....	20
3.2 系统的实现 .....	20
3.2.1 相关技术.....	21
3.2.1.1 面向对象设计 .....	21

3.2.1.2 MFC 中实现对象的图形显示.....	21
3.2.1.3 列表类 CList.....	22
3.2.2 二次设备构建平台 .....	23
3.2.3 事故现象编辑平台 .....	26
3.2.4 操作关系编辑平台 .....	29
<b>第四章. 虚拟变电站仿真场景的构建及实现 .....</b>	<b>33</b>
4.1 在 Windows 窗口中构建 OpenGL 环境 .....	33
4.1.1 Windows 窗口的构建.....	33
4.1.2 构建 OpenGL 环境.....	35
4.2 模型设计及构建 .....	36
4.2.1 用 OpenGL 函数构建模型.....	36
4.2.2 用 3D Studio Max 构建模型 .....	37
4.2.3 导入 3D Studio Max 模型 .....	37
4.3 OpenGL 的交互 .....	39
4.4 碰撞检测 .....	41
4.5 优化技术 .....	42
4.5.1 显示列表.....	43
4.5.2 细节层次技术.....	44
4.6 仿真培训场景 .....	46
<b>第五章. 数据库设计与实现 .....</b>	<b>51</b>
5.1 数据库的设计 .....	51
5.1.1 数据库模型的选择.....	51
5.1.2 数据库表的设计 .....	51
5.1.3 数据一致性的实现.....	53
5.2 数据库访问工具的选择 .....	54
5.2.1 常见的数据库访问工具 .....	54
5.2.2 几种数据库访问工具的选择 .....	56
5.3 Visual C++中使用 ADO 访问数据库 .....	56
<b>第六章 系统测试与运行 .....</b>	<b>61</b>
6.1 系统测试 .....	61
6.2 系统运行 .....	63



第七章 总结及展望 .....	65
参考文献.....	67
致 谢.....	69

厦门大学博士论文摘要库

厦门大学博硕士论文摘要库

# Content

<b>Chapter 1 Exordium .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objective And Significance of Research .....	1
1.2 System Simulation Theory for Substation Simulation Training System ...	2
1.3 Summary of the development of Electric Simulation System.....	3
1.4 Contents and Innovation .....	6
1.5 Framework of this thesis .....	6
<b>Chapter 2 The Virtual Reality Technology .....</b>	<b>9</b>
2.1 Introduction of Virtual Reality .....	9
2.2 Summary of the development of Virtual Reality .....	11
2.3 Tools for Virtual Reality .....	12
2.3.1 OpenGL.....	13
2.3.2 3D Studio Max .....	13
2.3.3 Virtual Reality Modeling Language .....	14
2.3.4 Tool Used in This Paper .....	14
2.4 Implementation of Virtual Reality on Computer Using OpenGL.....	15
2.4.1 Steps of Using OpenGL .....	15
2.4.2 Windows API .....	16
<b>Chapter 3 System Design and Implementation.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 System Design.....</b>	<b>17</b>
3.1.1 Substation's Main-line Diagram Drawing Platform .....	18
3.1.2 Graphics Constructing Platform for Outdoor Equipment .....	18
3.1.3 Indoor Equipment Constructing Platform .....	18
3.1.4 Accident Phenomena Editing Platform .....	19
3.1.5 Operation Relation Defining Platform .....	19
3.1.6 Simulation and Training Module.....	19
3.1.7 Anti-accident Training Module .....	20
3.1.8 Database Maintenance Module .....	20
<b>3.2 Implementation of System.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Related Technology .....	21
3.2.1.1 Object-Oriented Programming .....	21
3.2.1.2 Graphics Display in MFC .....	21
3.2.1.3 List Classt.....	22
3.2.2 Indoor Equipment Constructing Platform .....	23
3.2.3 Accident Phenomena Editing Platform .....	26

3.2.4 Opeartion Relation Defining Platform .....	29
<b>Chapter 4 Coustruction of Vitual Substation Scene.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Constructing OpenGL Environment in Windows .....</b>	<b>33</b>
4.1.1 Construction of Windows.....	33
4.1.2 Construction of OpenGL Environment .....	35
<b>4.2 Model Design and Construction .....</b>	<b>36</b>
4.2.1 OpenGL for Model Construction .....	36
4.2.2 3D Studio Max for Model Construction.....	37
4.2.3 Import 3D Studio Max Model.....	37
<b>4.3 Interactive Function of OpenGL .....</b>	<b>39</b>
<b>4.4 Collision Detection .....</b>	<b>41</b>
<b>4.5 Optimization.....</b>	<b>42</b>
4.5.1 Display List .....	43
4.5.2 Level of Detail.....	44
<b>4.6 Scenes of Simulation Training .....</b>	<b>46</b>
<b>Chapter 5 Database Design and Implementation.....</b>	<b>51</b>
<b>5.1 Database Design .....</b>	<b>51</b>
5.1.1 Choices of Database Model.....	51
5.1.2 Table Design.....	51
5.1.3 Consistency of Data .....	53
<b>5.2 Tools for Accessing Database .....</b>	<b>54</b>
5.2.1 Familiar Tools for Accessing Database .....	54
5.2.2 Choice of Database Accessing Tool .....	56
<b>5.3 Accessing database Using ADO in Visual C++ .....</b>	<b>56</b>
<b>Chapter 6 System Test and Execution .....</b>	<b>61</b>
6.1 System Test .....	61
6.2 System Execution .....	63
<b>Chapter 7 Summary and Further work .....</b>	<b>65</b>
<b>Reference.....</b>	<b>67</b>
<b>Acknowledge.....</b>	<b>69</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 研究的目的是和意义

电力系统在当今社会的经济和日常生活中起着举足轻重的作用，一次电力事故所引起的损失是无法估量的。变电站是供电系统的重要组成部分，是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。因此，变电站的安全可靠运行对维持电力系统的稳定运行和保证供电的可靠性具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。而变电站的日常运行，最终还是需要人工的参与和决策，因此，运行人员的岗位技能也就成为影响变电站安全运行的重要因素。据美国联邦能源局统计，电力系统的安全运行中，70%~80%依赖于运行人员<sup>[2]</sup>。因此，为了保证电力系统的安全运行，除了可靠的设备，合理的电网结构，科学的管理机制外，还必须努力提高运行人员的操作技能。

由于电力系统的电力设备二十四小时处于运行状态以维持整个系统的正常运行，所以对运行人员进行培训时，即使是合法的电气设备操作培训，也绝不能随意地在实际运行的设备上操作，而那些会引起电力事故的操作更是绝对禁止的。另一方面，由于电力事故影响大，损失重，电力系统运行时也是极力避免事故的发生，因此培训时绝不允许故意制造事故来让运行人员进行观察和处理，所以运行人员极少有实际应对事故的经验。而一旦事故发生，又要求运行人员要迅速有效地采取措施，隔离事故、降低事故损失和事故影响等，这些都是对运行人员进行培训所面临的问题。而传统的培训方法是书本讲授，在图纸和模拟板上练习操作和进行模拟演习，这对培养运行人员的操作技能和事故处理能力，虽然起到了一定的作用，但是因为缺乏真实感，所以培训效果有限<sup>[3]</sup>。因此，电力系统引入了仿真培训系统来对运行人员进行培训。

变电站仿真培训系统就是根据实际变电站的状况，运用必要的仿真技术，构建一个虚拟运行的变电站作为培训环境，培训人员在这个环境中进行相关的运行操作，系统根据实际变电站的操作规则和运行原理，将模拟的操作结果返回给培训人员，以达到培训的目的<sup>[4]</sup>。由于仿真系统只是一个虚拟的环境，不会产生真正的影响，所以这种方法既方便于运行人员练习正确的操作，也可以演示电力系

统出事故时的现象，甚至人为地制造事故来对让培训人员观察学习。培训人员在仿真培训系统中进行操作时，可以直接直观地体验自己的操作的结果或操作引发的事故现象，真实感大大增强。培训人员还可以根据当前事故现象，学习该采取什么样的措施，以提高对事故的处理能力。因此，仿真培训系统的培训效果要大大高于传统的培训方法。

目前，国内外已经开发出许多的仿真培训系统，按仿真培训系统的组成模式来看，主要分为带盘台模式（硬模式）和纯软件模式（软模式）<sup>[3]</sup>。带盘台模式是指用与实际变电站 1:1 的开关控制屏和保护屏组成变电站仿真培训系统的控制室和保护室，并由后台计算机支持这些控制屏和保护屏的显示。纯软件模式是指全部的变电站设备都采用软件来模拟显示，培训人员面对的只有计算机屏幕，所有的操作都在计算机上完成。

带盘台模式的仿真培训系统由真实硬件组成，因此真实感很高，但是灵活性低，占用空间大，成本高，效率低，维护和扩展不容易。纯软件模式只需要一台计算机，而且所有变电站设备都是由软件实现，因此它成本低，灵活性高，效率高，维护和扩展简单，但它和实际变电站操作有一定的差别，真实感远不如带盘台模式。因此，研发一种兼具两种模式的优点，既有真实感，又有灵活性的变电站仿真培训系统，具有很好的应用前景。另一方面，目前大多数的变电站仿真培训系统都是针对特定的变电站来实现的，即针对一个变电站开发的仿真培训系统，如果改变了变电站的电气设备配置，或者用于另一个变电站，就必须重新更改程序，这也相对的限制了纯软件模式的灵活性和开发成本低的优势。因此，开发兼具通用性的仿真培训系统，更具有现实意义和经济效益。

## 1.2 变电站仿真培训系统的系统仿真学理论

系统仿真是以人为中心，通过对客观世界的认识，抽取事物相关属性的信息，并映射于适当的信息空间，建立相似于事物原型属性的描述，即模型，用模型来替代事物原型进行实验研究的技术。组成仿真系统的三大要素是原形模型、模型和实验<sup>[5]</sup>。在变电站仿真培训系统中，被仿真的实际变电站是原形模型，构建的仿真环境即是模型，而通过仿真培训系统对运行人员进行培训就是三要素中的实验环节。变电站仿真培训系统的系统仿真学结构如图 1-1 所示。

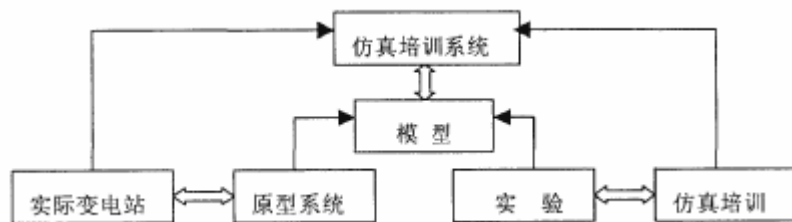


图 1-1 变电站仿真培训系统的系统仿真学结构

仿真方法学的研究课题是：研究者利用事物的模型，根据被仿真的实际环境，创建相应的实验环境，以及在此环境中间接研究事物的操作方式，使得研究者在“人-模型”交互过程中，去感受、了解或者控制事物变化的机理和规律。而要有效地实现此目的，仿真方法学强调以更自然的方式建立“人-模型”间和谐地交互信息的实验技术<sup>[5]</sup>。映射到变电站仿真培训系统中，即是变电站里的培训人员通过对虚拟的仿真环境中的电气设备进行操作和练习，以了解实际操作规则和获得实际操作感性认识。而所研发的变电站仿真培训系统，应当利用仿真方法学中先进的仿真技术，综合计算机、网络、图形图像、多媒体、软件工程、信息处理、专家系统等多个技术领域的知识，以达到“人-模型”间和谐地交互信息的目标，提高培训系统的性能。

变电站仿真培训系统是一种培训性仿真，其最主要的目的是培训，而所运用的仿真技术是为这个目的服务的手段。因此，在模型构建上，强调的是模型仿真过程和结果的逼真性，要求保证尽量逼近实时相应，相比之下模型的精度倒在其次<sup>[1]</sup>。而在仿真方法上，构造的仿真环境应该遵循以人为中心的系统仿真原则，最大限度的给培训人员以深刻生动的感受，以获得更好的培训效果。

### 1.3 国内外电力系统仿真培训的发展综述

国内外电力系统的培训仿真系统从 70 年代开始发展，开始主要集中在火电厂机组，之后相继扩展到电网、变电站的仿真培训。国外 70 年代就出现了实用的火电仿真系统（1971 年美国、日本和英国分别安装了第一套大容量的火电培训仿真机），电网仿真系统（1977 年美国 CDC 公司开发出第一套 DTS 装置）和变电站的仿真系统（70 年代日本关西电力公司建立了变电站仿真系统）。我国于 1982 年研制成功了第一套火电仿真机组，期间电网调度仿真机和变电站仿真机也在开发，并从 80 年代末期开始陆续建立了电网和变电站的仿真培训系统，1990

年研制出了第一台 DTS——东北电网仿真系统，到 1999 年，大多数的网调、省调都使用了电网调度仿真器材<sup>[1]</sup>。

在我国，电力系统首先在火电厂和核电厂开展了仿真培训系统的研究和试验，取得很好的效果，现在核电厂和火电厂配备仿真培训系统的必要性已经被国内外所公认，我国电力领导部门规定核电厂和 300MW 以上的火电机组，都必须配备仿真培训系统。接着兴起电网调度培训仿真系统，省网调度中配备培训仿真的也日益增多。而变电站由于数目众多，而且早期的变电站容量不大、自动化水平较低，其运行操作要求也不高，因此，仿真培训系统在变电站中的应用比较少。随着电力系统的发展，高电压、大容量的变电站相继投入运行，在电力系统中占有重要的地位。同时先进的自动化技术的应用，对变电站的运行人员的素质提出了更高的要求。因此变电站仿真培训也逐步发展起来。国内有关科研单位和高等院校与运行单位相结合，开始开发相应的变电站运行人员仿真培训系统。从 90 年代中期开始，一批 110KV<sup>[6]</sup>、220 KV<sup>[7]</sup>、500KV<sup>[8]</sup>的变电站仿真培训系统相继建成，并取得了良好的效果。

最初研制的变电站仿真培训系统沿用电厂仿真的模式，带硬件盘台，所用的计算机也采用工作站，投资很大。随着计算机硬件、计算机技术、网络技术和多媒体技术的飞速发展，后来逐渐采用 PC 机代替工作站，还出现了纯软件仿真的模式<sup>[3]</sup>。下面是带盘台模式和纯软件模式在视觉效果、成本、效率等方面的具体对比。

**表 1-1 两种模式特性比较**

对比项目	带盘台模式	纯软件模式
视觉直观、操作逼真的效果	采用与实际变电站1:1的硬件，给培训人员带来的真实感是纯软件模式无法比拟的	对设备操作都是通过鼠标进行，而且需要切换画面，与实际操作有些差别，需要培训人员适应一段时间。
造价	硬件投资很高，尤其是一次性投资高，一般为纯软件模式的几倍至几十倍。	只需要有计算机及其网络配件，造价低。可根据资金情况分期投资。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库